

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOYCE EMANUELLE TORRES DOS SANTOS

**Proteção contra corrosão de metais empregados em tanques de
armazenamento de combustíveis**

São José dos Campos

2019

JOYCE EMANUELLE TORRES DOS SANTOS

**Proteção contra corrosão de metais empregados em tanques de
armazenamento de combustíveis**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado
à Universidade Federal de São Paulo como
requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Capella de
Oliveira

São José dos Campos

2019

JOYCE EMANUELLE TORRES DOS SANTOS

Proteção contra corrosão de metais empregados em tanques de armazenamento de combustíveis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de São Paulo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Aline Capella de Oliveira

Universidade Federal de São Paulo

Orientadora

Dr. Walter Miyakawa

Instituto de Estudos Avançados – IEAv-DCTA

Na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei de direitos autorais nº 9610/98, autorizo a publicação livre e gratuita desse trabalho no Repositório Institucional da UNIFESP ou em outro meio eletrônico da instituição, sem qualquer ressarcimento dos direitos autorais para leitura, impressão e/ou download em meio eletrônico para fins de divulgação intelectual, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNIFESP São José dos Campos com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Santos, Joyce Emanuelle Torres dos.

Proteção contra corrosão de metais empregados em tanques de armazenamento de combustíveis / Joyce Emanuelle Torres dos Santos - 2019.

34f.

Trabalho de conclusão de curso Engenharia de Materiais – Universidade Federal de São Paulo, Instituto de Ciência e Tecnologia, 2019.

Orientador: Aline Capella de Oliveira

Título em outro idioma: Corrosion protection of metals used in fuel storage tanks.

1. Corrosão. 2. Tanque Combustível. 3. Proteção. 4. Metal. I. Oliveira, Aline Capella de. II. Trabalho de conclusão de curso Engenharia de Materiais – Universidade Federal de São Paulo, Instituto de Ciência e Tecnologia. III. Título.

Agradecimentos

Agradeço incondicionalmente aos meus pais e aos meus irmãos por sempre estarem ao meu lado, por serem meu porto seguro, dando carinho, amor e confiança.

À minha mãe, Crenilda, que sempre me incentivou a enfrentar os desafios da vida sem nunca desistir, mostrando que acreditar em mim é o necessário para que eu possa realizar todos meus sonhos.

Ao meu namorado, Rodrigo, por toda paciência, amor e carinho, ouvindo minhas reclamações, aconselhando e confortando com suas palavras prudentes e sempre me fazendo rir, tornando essa minha jornada da graduação mais leve com seu apoio. Obrigada por me compreender e oferecer seu suporte nos momentos difíceis.

À minha orientadora, professora Dra. Aline Capella de Oliveira, pela oportunidade e contribuição para o meu crescimento profissional, e por ter me dado à chance de compartilhar de seu conhecimento científico ao realizar este trabalho.

Aos amigos que sempre irei levar no coração: Nicholas Siqueira, Letícia Bessa, Camila Cuccio, Ana Gabriella, Suellen Rosa e Rafael Ribeiro, por nossas trocas de conhecimento e incríveis momentos de alegria, amizade.

Aos professores e colegas do curso de Engenharia e Ciências dos Materiais da UNIFESP E UFS, e a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, na elaboração desse trabalho.

RESUMO

Os vazamentos de tanques de armazenamento de combustíveis ocasionam prejuízos ambientais, financeiros e de saúde pois os compostos presentes nos combustíveis são tóxicos, contaminam o ar e solo. Isso ocorre devido ao processo corrosivo entre o fluido armazenado e o material que compõe o tanque, normalmente é feito de metal porque atende aos critérios de especificação de segurança e eficiência. Para minimizar a corrosão dos materiais, pode-se aplicar um tipo de proteção na fase de projeto do tanque, como a proteção anódica, catódica, utilização de inibidores no meio e revestimentos. Cada material age de forma diferente em contato com o meio ao qual está inserido, fazendo-se necessário um estudo de cada caso, em que é determinado o mecanismo de corrosão, a forma que ela se manifesta no metal, o que causa e como poderá ser controlada. Por isso, o objetivo dessa monografia é apresentar a corrosão associada aos combustíveis contra o aço, os principais tipos de controle de corrosão utilizados e as pesquisas na área de proteção contra corrosão em contato com combustíveis.

Palavras-chaves: Corrosão. Tanque de combustível. Proteção. Metal.

ABSTRACT

Leaks from fuel storage tanks cause environmental, financial and health damage because of the toxic compounds presents in the fuels, they contaminate the air and soil. This is due to the corrosive process between the stored fluid and the material that makes up the tank, it is usually made of metal because it meets the safety and efficiency specification criteria. To minimize corrosion of materials, a type of protection can be applied at the design stage of the tank such as anodic, cathodic protection, use of inhibitors in the medium and coatings. Each material acts differently in contact with the environment to which it is inserted, making it necessary to study each case, determining the corrosion mechanism, the way it manifests itself in the metal, what causes it and how it may be controlled. Therefore, the purpose of this monograph is to present the corrosion associated with fuels against steel, the main types of corrosion control used and research in the area of corrosion protection in contact with fuels.

Keywords: Corrosion. Fuel tank. Protection. Metal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação esquemática de uma pilha de corrosão [16].	16
Figura 2. Representação das principais formas de corrosão metálica [7].	17
Figura 3. Representação do sistema de proteção anódica [14].	21
Figura 4. Micrografia obtida pelo MEV da superfície das amostras após imersão parcial com ampliação de 250 vezes. (a) amostra A com revestimento organometálico; (b) amostra B com revestimento organometálico; (c) Amostra c sem revestimento metálico [16].	24
Figura 5. Mapeamento de elemento químico por EDS das superfícies de amostras com revestimento organometálico (a ,b, c) A e (d, e, f) B [28].	25
Figura 6. Fotos dos corpos de prova de aços galvanizados após 1920 horas de teste acelerado cíclico de corrosão (80 ciclos) GMW 14872: (a) sem revestimento organometálico; (b) com revestimento organometálico do tipo A; (b) com revestimento organometálico do tipo B [28].	25
Figura 7. Imagens obtidas por MO do aço AISI 4140 após 77 dias de imersão em EHC: (a) sem tratamento superficial; (b) nitrocarbonetado e pós-oxidado durante 30 minutos; (c) nitrocarbonetado e pós-oxidado durante 90 minutos [29].	26
Figura 8. Micrografias do aço 4140 após 14 e 21 dias de imersão em EHC sem desgaste: (a) com têmpera e revenimento após 14 dias; (b) com têmpera e revenimento após 21 dias; (c) corte da seção transversal do corpo de prova, mostrando substrato com tratamento duplex na superfície após 14 dias; (d) corte da seção transversal do corpo de prova, mostrando substrato com tratamento duplex na superfície após 21 dias; (e) superfície do corpo de prova com tratamento duplex após 14 dias; (f) superfície do corpo de prova com tratamento duplex após 21 dias [30].	28
Figura 9. Curvas de polarização potenciodinâmica anódica para amostras: (a) Aço sem revestimento imerso em diesel; (b) Aço com revestimento Cu imerso em diesel; (c) Aço sem revestimento imerso em biodiesel; (d) Aço com revestimento Cu imerso em biodiesel [31].	30
Figura 10. Curvas de polarização em NaCl 3,5% com os sistemas estudados por Souza [32].	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
B100	100% de Biodiesel
EDS	Espectroscopia por Energia Dispersiva
EHC	Etanol Hidratado Combustível
kPa	Quilo Pascal
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MO	Microscopia Optica
NBR	Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
PIB	Produto Interno Bruto
S10	Diesel com até 10 mg/kg de teor de enxofre
SAE	Society of Automotive Engineers

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	12
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1 Tanques de Combustíveis.....	13
3.1.1 Aço	14
3.2 Corrosão	15
3.2.1 Mecanismos de corrosão	15
3.2.2 Formas de corrosão	16
4 MATERIAL E MÉTODOS	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
5.1 Tipos de Combustíveis e a Corrosão associada à sua presença	18
5.1.1 Gasolina	19
5.1.2 Etanol.....	19
5.1.3 Diesel e Biodiesel.....	20
5.2 Meios de Proteção Contra Corrosão	20
5.2.1 Proteção Anódica.....	21
5.2.2 Proteção Catódica.....	21
5.2.3 Proteção por Meio de Inibidores.....	22
5.2.4 Proteção por Recobrimentos Superficiais	22
6 CONCLUSÕES.....	31
7 REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento econômico e desenvolvimento urbano, ao longo do século 20, houve um crescimento da quantidade de automóveis para o transporte de produtos e pessoas. Além disso, houve um crescimento no número de postos de combustíveis, os quais não tinham uma regulamentação para seu projeto de instalação, afim de prevenir acidentes e impactos ambientais [1].

Com o passar do tempo, apareceram os problemas associados a essa falta de regulamentação, como vazamentos de combustíveis que contaminavam o solo e o ar com os produtos tóxicos sintéticos: benzeno, clorobenzenos, tricloroetileno e tetracloroetileno. Uma pequena quantidade de água contaminada com esses compostos pode tornar indisponível uma boa parte de um aquífero. Detectar vazamentos dos tanques subterrâneos e tubulações com combustíveis é difícil sem uma inspeção meticulosamente [1, 2, 3].

Os vazamentos de tanques combustíveis ocorrem devido ao processo corrosivo que desencadeiam pelas características do fluido armazenado e do material do tanque. Todos os tipos de combustíveis possuem ação corrosiva nos metais, sendo o etanol o mais corrosivo entre gasolina, diesel, biodiesel e etanol, pois possui impurezas como água, cloretos, oxigênio e acetatos [4, 5].

A corrosão metálica ocorre de forma espontânea, transforma o metal em compostos semelhantes aos encontrados na natureza. A corrosão pode acontecer de duas formas, química ou eletroquímica, dependendo do meio inserido e o tipo de material utilizado. Na corrosão eletroquímica, tem a presença de água, que transfere elétrons entre o eletrólito e a superfície do metal, formando uma pilha. Enquanto que na corrosão química, ou oxidação, esse processo é desencadeado sem a presença de água e em altas temperaturas [6, 7].

Através dessa deterioração, existe a perda efetiva do metal pela corrosão ou pela película de oxidação. Com isso, há uma diminuição da vida útil do material, perda de propriedades essenciais como a resistência mecânica, ductilidade e elasticidade, modificando as propriedades em termos de resistência ao desgaste, variação química da composição e modificações estruturais [6, 7].

Os problemas com corrosão impactam todos os tipos de indústrias, tanto química,

petrolífera, rodoviária, aviação, telecomunicações, na medicina e inclusive impactam o meio ambiente. O custo associado à corrosão na maioria dos países é em torno de 3% a 5% do seu PIB, são custos de substituição de peças, manutenção dos processos de proteção contra corrosão. O aço é um dos metais mais utilizados nessas indústrias pelas suas propriedades, porém, em 2013 estimou-se que aproximadamente 30% de todo aço produzido no mundo era destinado para repor peças e equipamentos danificados pela deterioração [7, 8, 9].

Os tanques de combustíveis são feitos, normalmente, de metal na parede interna que precisa possuir algum tipo de proteção, revestimento externo espesso ou parede dupla, em que a camada externa é revestida com polímero reforçado com fibra de vidro. O metal utilizado na construção dos diversos sistemas automotivos e nos tanques de combustíveis, tanto para automóveis quanto tanques de armazenamento, podem ser aço carbono, aço inoxidável, ligas de alumínio, ligas de zinco-ferro, etc [10, 11, 12, 13].

Para proteger os materiais da corrosão, é necessário conhecer o material utilizado na aplicação, o meio em que estará inserido a peça ou equipamento e dessa forma escolher um método de proteção. Dentre os métodos com ação protetiva, tem a proteção anódica, proteção catódica, proteção por meio de inibidores, proteção por recobrimentos superficiais (revestimento) e modificação do meio, os quais ajudam a controlar a velocidade de corrosão [7, 8, 14].

Considerando a relevância deste tema, a elaboração desta monografia tem como objetivo apresentar os principais tipos de controle de corrosão de tanques de armazenamento de combustíveis utilizados pela indústria, assim como as recentes inovações na área de proteção contra corrosão.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

O objetivo deste trabalho é apresentar um levantamento dos tipos de proteção contra corrosão de aços, empregados como materiais em tanques de armazenamento e transporte de combustíveis. Uma vez que, em contato com todos os combustíveis, estes materiais apresentam certo grau de corrosão, faz-se necessário o entendimento do mecanismo de corrosão presente e as formas de proteção do material em contato com tal meio agressivo.

Como objetivos específicos, espera-se:

- Realizar o levantamento das características dos materiais aplicados no setor de óleo e gás;
- Descrever os tipos de corrosão presentes nos materiais em contato com combustíveis, envolvendo abordagens do panorama de mercado atual; e
- Pesquisar os tipos de proteção empregados no setor para minimização dos efeitos de corrosão nos materiais sob corrosão, em contato com combustíveis.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Tanques de Combustíveis

Os tanques de armazenamento de combustíveis são estruturas de aço ou de concreto, normalmente, podendo ser de polímero desde que reforçado com fibra de vidro. O formato é cilíndrico com capacidade volumétrica para armazenamento de mais de 250 litros de petróleo, álcool, diesel, biodiesel, óleo e outros derivados de petróleo [11]. Segundo a NBR 7505-1, os tanques são classificados nos seguintes aspectos:

(i) em relação ao tipo:

- Tanque elevado: apoiado em uma estrutura, situada acima do nível do solo.
- Tanque de superfície: sua base está apoiada na superfície do solo.
- Tanque subterrâneo: formato horizontal, situado abaixo do nível do solo, totalmente enterrado.

(ii) em relação ao formato:

- Tanque vertical: situado no eixo vertical, base totalmente apoiada na superfície do solo.
- Tanque horizontal: situado no eixo horizontal, base acima, no mesmo nível ou abaixo do nível do solo.

(iii) em relação à pressão interna, medida no topo do tanque:

- Tanque atmosférico: tanque vertical, opera com pressão manométrica interna até 6,9 kPa.
- Tanque de baixa pressão: tanque vertical, opera com pressão manométrica entre 6,9 kPa e 103,4 kPa.

(iv) em relação ao teto:

- Tanque de teto fixo: mais comum na indústria, contém um respiro para ventilação.

- Tanque de teto flutuante externo: tanque vertical, opera à pressão atmosférica, o teto flutua sobre a superfície do líquido.

Além disso, a norma define tanque de consumo como sendo o tanque ligado diretamente ao motor ou equipamento térmico, sua função é alimentar esses dispositivos. Tais tanques têm proteção contra corrosão do tipo catódica, revestimento externo espesso ou parede dupla, em que a última parede é feita de polímero reforçado com fibra de vidro ou similar [11].

3.1.1 Aço

As normas para a construção de tanques de armazenamento foram desenvolvidas para atingir uma especificação de segurança e eficiência enquanto em uso. Para atingir todos os requisitos mecânicos, químicos, ambientais e também de custo, um dos materiais que atende esses critérios é o aço [4, 5].

O aço é uma liga metálica formada de ferro e entre 0,008 e 2% de carbono, aproximadamente, além de outros metais como elementos de liga. Tem como propriedades boa usinabilidade, soldabilidade, baixo custo da matéria-prima, bom processamento, boa condutividade térmica e durabilidade. Os aços mais utilizados na indústria são o aço carbono e inoxidável [4, 6, 12].

O aço carbono é caracterizado por conter até 1,4% de carbono, com baixo teor tem até 0,3% de carbono, os microconstituintes são ferrita e perlita, possui baixa resistência e alta tenacidade. Aço com médio teor tem entre 0,3 e 0,6% de carbono, são tratáveis termicamente, possuem uma maior resistência e menor tenacidade que o de baixo carbono. O aço com alto teor de carbono, entre 0,6 e 1,4% de C, são denominados de aço carbono e aço ferramenta, possuem maior resistência e menor tenacidade [4, 6].

Os aços são classificados pelo sistema SAE-AISI, no Brasil, por 4 números que indicam o grau, faixa de composição química, o tipo, processo de desoxidação e a classe, que mostra a classe de resistência, acabamento, entre muitos outros atributos. Como exemplo, a liga SAE 4140 tem 41 que indica que a composição do aço possui cromo e molibdênio [6].

Outros sistemas de classificação podem ser utilizados, como a norma API, ASTM, ABNT, UNS, entre outros. O aço API 5CT P110 é um aço de alta resistência e baixa liga, apresenta boa resistência mecânica e tenacidade. API indica a norma, 5CT indica a especificação para tubos e revestimentos, utilizados em tubulações de alta pressão, e com teores máximos de enxofre e fósforo de 0,03% [6, 32].

O aço inoxidável é caracterizado pela presença de níquel e/ou cromo na liga, esses elementos aumentam a resistência à corrosão e possui maior dureza do que o aço carbono. Nesse tipo de aço, ocorre o fenômeno de passivação, em que é formada uma película protetora estável na superfície da peça metálica, a qual é impermeável, aderente e possui alta taxa de formação [4, 6, 12].

3.2 Corrosão

A corrosão metálica é um processo natural, que consiste na transformação dos metais ou ligas metálicas na sua forma de óxido, a forma que é encontrada na natureza. Os elétrons das camadas de valência dos metais são mais fáceis de serem retiradas por terem ligações fracas, e, com isso, a reação com íons condutivos do meio é favorecida, ocorrendo a despolarização da superfície do metal. Em decorrência da corrosão, há a diminuição da vida útil e modificação das propriedades do material, causando prejuízos financeiros e de desempenho [6,7].

3.2.1 Mecanismos de corrosão

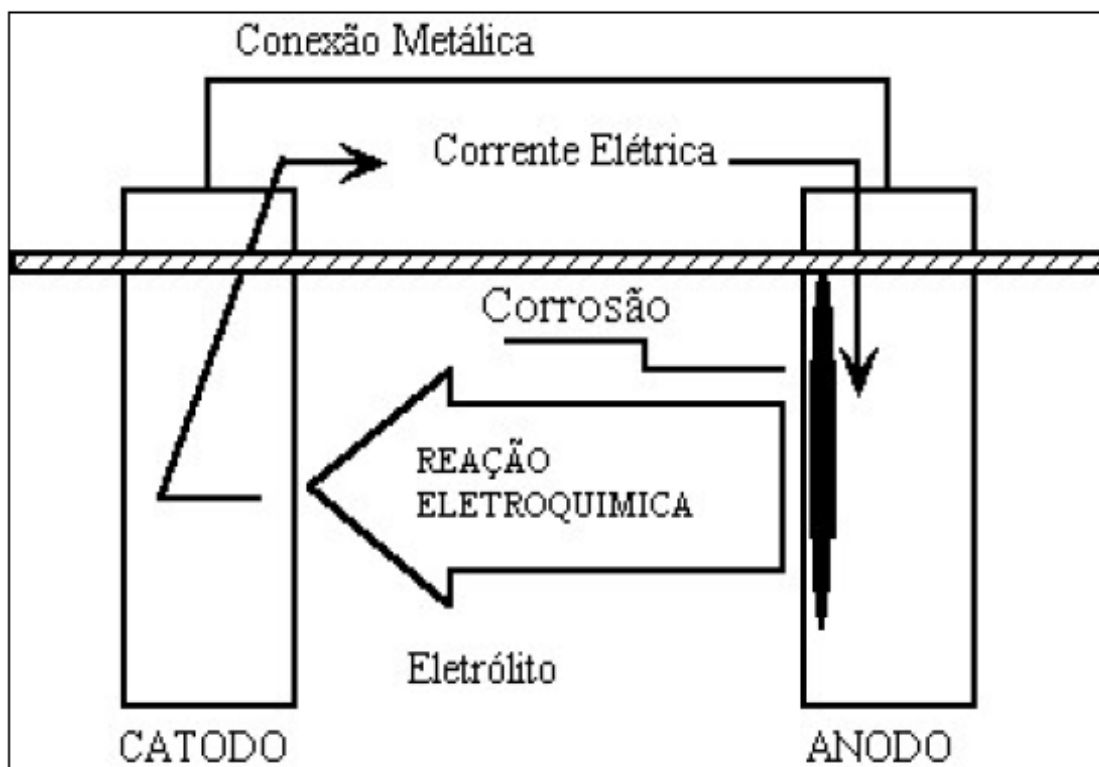
Os mecanismos corrosão em materiais metálicos podem ser eletroquímicos e químicos, variando-se o material utilizado, o meio corrosivo e as condições operacionais as quais esse material está sujeito. Ao fazer um estudo dessas variáveis, é possível indicar se aquele material é adequado para o objetivo de uso, como equipamentos, estruturas e utensílios [5, 6, 7].

Para o material metálico, deve-se considerar a composição química, a presença de impurezas, se um tratamento térmico foi feito, o estado da superfície e forma desse metal, se está em contato com outros metais, se tem união de materiais através de soldas, rebites, etc. Para o meio corrosivo, a composição química, impurezas, o pH, a temperatura de operação, a pressão e os tipos de sólidos suspensos são algumas variáveis que devem ser levadas em consideração. Já para as condições operacionais, é preciso avaliar se haverá solicitações mecânicas, se o material está total ou parcialmente imerso no meio, o que foi utilizado para proteção contra a corrosão, etc [7].

A corrosão química acontece em altas temperaturas, com reações diretas entre o meio e o material utilizado, não produzindo corrente elétrica, uma vez que não há transferência de elétrons de uma área para outra. Se o material utilizado for metálico, forma-se um produto de corrosão na superfície do metal, os óxidos [6,7].

A corrosão eletroquímica é mais frequente, ocorre em temperatura ambiente, quando o material está em contato com um eletrólito, gerando reações químicas conhecidas como anódicas e catódicas. É caracterizada pela presença de água e formação de uma pilha de corrosão, em que os elétrons são transferidos da região anódica para a catódica. No processo anódico, há uma passagem dos íons para a solução, a transferência de elétrons se dá pelo circuito metálico e pela difusão de ânions e cátions na solução e há a recepção desses elétrons no processo catódico, como mostrado na Figura 1 [7,15].

Figura 1. Representação esquemática de uma pilha de corrosão [16].



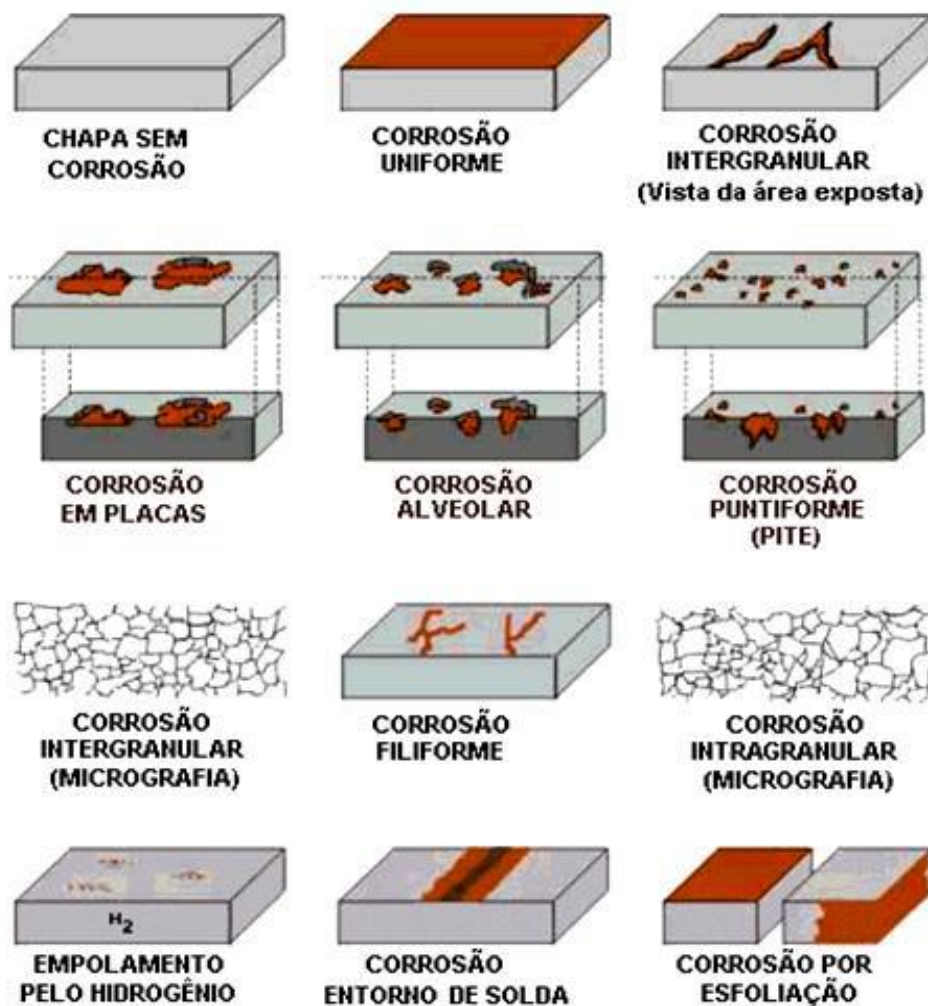
Fonte: OLIVEIRA, 2013.

3.2.2 Formas de corrosão

A corrosão metálica se manifesta de várias formas, considera-se a fisionomia do ataque e as causas e mecanismos, como ilustrado na Figura 2. Portanto, pode ser caracterizado pela sua morfologia (uniforme, intergranular, em placas, alveolar, puntiforme, etc.), causas (eletrolítica, galvânica, sob tensão, em torno da corrente de solda), fatores mecânicos (sob tensão, sob fadiga,

sob atrito e associado à erosão), meio corrosivo (atmosférica, por microrganismos, pela água salina, etc.) e localização do ataque corrosivo (por pite, uniforme, intragranular, etc.) [7,16].

Figura 2. Representação das principais formas de corrosão metálica [7].



Fonte: GENTIL, 2003.

A corrosão localizada se manifesta em regiões que são propícias ao fenômeno, de forma macroscópica ou microscópica. A corrosão por placas se localiza na superfície, formando placas com escavações e gerando uma diferença de rugosidade. A corrosão por *pites* é mais comum em aços inoxidáveis, alumínio ou suas ligas, e se manifesta como pequenos pontos ou em pequenas áreas localizadas de corrosão. São cavidades que tem o fundo em forma angulosa e o diâmetro é menor do que a profundidade [7, 17].

A corrosão alveolar ocorre na superfície metálica gerando escavações com forma de alvéolos, com fundo arredondado e profundidade menor que o diâmetro. A corrosão filiforme se

manifesta sob forma de filamentos finos que não se cruzam, se propagando em diferentes regiões e é mais comum na presença de revestimentos com filmes poliméricos. A corrosão sob tensão é ocasionada na presença de tensão de tração, aparecem trincas intergranulares, transgranulares ou ramificadas que se propagam até causarem a completa ruptura da peça [7,16, 17].

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os tipos de corrosão de metais, associados à presença de combustíveis, e os métodos empregados na proteção contra corrosão de tanques de transporte e/ou armazenamento de combustíveis.

Para isto, foram considerados dados de pesquisas presentes no acervo de normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), livros, teses e artigos especializados na área de óleo e gás. Os dados foram coletados e reunidos no trabalho para identificação dos atuais métodos empregados no setor para inibição ou minimização deste defeito.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A norma ABNT NBR 16161:2019 define os requisitos para a confecção tanques de combustíveis, em que o interior é feito de aço carbono e o exterior é constituído de um material polimérico, como exemplo, a resina termofixa com reforço de fibras de vidro. Para isto, a superfície passa por procedimentos de preparo, jateamento e, em seguida, é aplicado um produto anticorrosivo, como o Primer Epóxi de poliamida bicomponente de óxido de ferro [28].

5.1 Tipos de Combustíveis e a Corrosão associada à sua presença

No transporte e armazenamento de combustíveis, tanto de derivados de petróleo quanto de fontes renováveis e suas respectivas misturas, utilizam-se tanques e, portanto, ocorre o contato entre tais combustíveis e o material dos tanques, compostos por metálicos. Para determinar o tipo de corrosão e seus mecanismos, testes de imersão, descrito na norma ASTM G31-72 3 e SAE J1747, são empregados, seguido de avaliação da superfície das amostras metálicas e sua perda de massa. Também é possível avaliar a corrosão com outros testes, por meio de espectroscopia de

impedância, em que se aplica um potencial elétrico variável através de um potenciostato em uma célula eletroquímica [5, 7, 17].

5.1.1 Gasolina

A gasolina comum comercializada é um líquido transparente a amarelado, derivado do petróleo, utilizado como combustível de motores de combustão interna. É composta de hidrocarbonetos aromáticos, olefinas, parafinas e oxigenados como tolueno, m-xileno, 2-metil-1-buteno, 2-penteno, hexano, heptano, 2-metil-2-propanol, entre outros. Em pequenas frações tem a presença de compostos de enxofre, oxigênio e nitrogênio, componentes indesejáveis por sua ação corrosiva e formação de gases tóxicos [5, 18].

Podem ser adicionados à gasolina pura reagentes com funções antioxidantes, antidetonantes, corantes, oxigenadores que servem para melhorar o desempenho do combustível. Atualmente, no mercado nacional, a gasolina comercializada tem adicionada à sua composição entre 22% a 27% de etanol. Com isso, aumenta-se a octonagem da gasolina e diminui-se a emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente como o monóxido de carbono e nitratos [5, 18, 19].

A ação corrosiva da gasolina está ligada à concentração dos compostos de enxofre, água, bases, ácidos e etanol, que provocam a corrosão de metais como ligas de cobre, aços, latão e zinco. Quanto maior a concentração desses itens, maiores as taxas de corrosão dos metais e a formação de produtos de corrosão (por exemplo, óxidos e carbonatos), diminuindo assim sua vida útil [5, 7, 18, 19].

5.1.2 Etanol

O etanol é uma substância química, de origem vegetal, obtido através da fermentação de açúcares de plantas, as mais usadas são cana-de-açúcar, milho e beterraba. A ação corrosiva do álcool como combustível está associada somente às impurezas e alguns aditivos presentes na composição, pois, o álcool puro não causa corrosão nos materiais metálicos [5, 18, 19].

Durante o processo de obtenção do etanol surgem as impurezas, água, ácido acético, compostos ésteres e aldeídos, cloro, entre outros. No álcool de origem do caldo de cana, o cloreto é o principal agente corrosivo de aço inoxidável, resultando em corrosão localizada. Além disso, o pH é um fator importante no estudo da corrosão do etanol, com valores baixos a corrosão é acentuada [5, 20, 21].

A taxa de corrosão do metal aumenta com a concentração de água no etanol, com a concentração de íons cloreto e com o aumento da temperatura, e diminui com uma maior concentração de álcool. Para proteger os metais da corrosão do etanol pode-se utilizar inibidores de corrosão e recobrimentos de cádmio (Cd) [5, 22].

5.1.3 Diesel e Biodiesel

O diesel, óleo derivado do petróleo, é uma mistura complexa de hidrocarbonetos alifáticos, alcanos cíclicos, aromáticos e possui, em menores concentrações, compostos de enxofre, oxigênio, nitrogênio, dentre outros. Em comparação à gasolina, possui moléculas com cadeias de maiores tamanhos, e, portanto, possui maior massa específica, menos volátil e apresenta menor solubilidade no meio com água [5, 23, 24].

Os compostos de enxofre presentes no diesel são agentes corrosivos que podem estar associadas com a degradação microbiana do diesel, o que diminui o pH do combustível. A corrosão microbiana altera a qualidade do combustível, quebrando o anel benzeno e alifático, o que inclui oxigênio na cadeia e acelera a corrosão do aço. Para proteção desse tipo de degradação, é possível utilizar inibidores e biocidas [5, 24, 25].

O biodiesel é uma mistura de óleos vegetais, óleo diesel derivado de fóssil e ésteres monoalquílicos de óleos vegetais e gorduras animais, em diferentes proporções. Apesar de trazer mais vantagens em relação à preservação do meio ambiente, o biodiesel apresenta maior corrosividade do que o diesel convencional por ter baixa estabilidade oxidativa e hidrolítica, na presença de água e ácidos graxos provoca hidrólise, o que diminui o pH do combustível [5, 26, 27].

A hidrólise promove o crescimento microbiano no meio, resultado semelhante em biodiesel, diesel e sua mistura. Com isso, ocorre a corrosão microbiana em sistemas de armazenagem, transporte e nos veículos. Os microrganismos geram produtos que são agressivos ao metal, consomem o oxigênio presente no meio e/ou excretam substâncias corrosivas ao metal. As ligas não-ferrosas, de cobre, de chumbo e de alumínio são as mais suscetíveis à corrosão por biocombustíveis, sendo as ligas ferrosas as mais resistentes [5, 25, 26, 27].

5.2 Meios de Proteção Contra Corrosão

Ao estudar os mecanismos do processo corrosivo de cada caso, é possível criar estratégias para proteger o material da corrosão. Tais estratégias incluem modificações no processo de fabricação

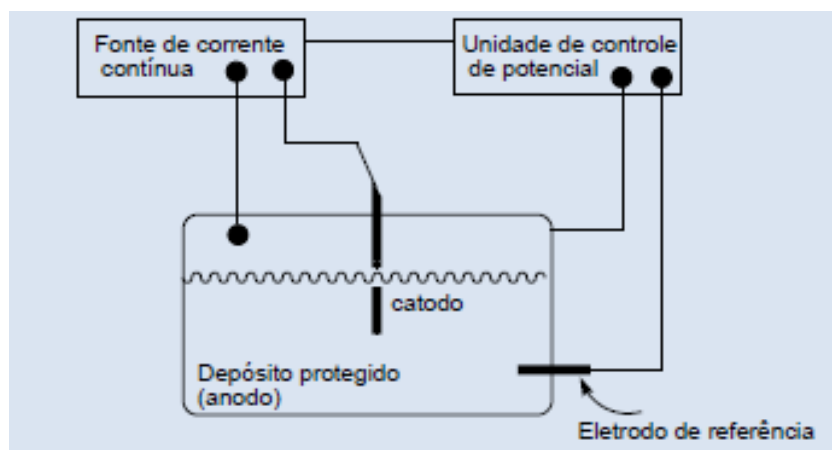
e no meio, modificação do metal empregado e aplicação de revestimentos protetores, como por exemplos, proteção anódica, catódica, por meio de inibidores e por recobrimentos superficiais [6, 7].

5.2.1 Proteção Anódica

O método de proteção anódica, figura 5, consiste em aplicar um potencial anódico através de um potenciostato ao circuito eletroquímico, representando o processo corrosivo, alterando-se o potencial de equilíbrio para o anódico, evitando a corrosão do material metálico [6, 7, 14].

Esse tipo de proteção é aplicado somente em materiais que formam películas protetoras e o potencial anódico mantém essa película estável. O custo de investimento é alto, porém, a manutenção tem baixo custo. O titânio, cromo e ligas de ferro-cromo são alguns exemplos de materiais que se passivam [7, 14].

Figura 3. Representação do sistema de proteção anódica [14].



Fonte: FRAUCHES-SANTOS, 2013.

5.2.2 Proteção Catódica

A técnica de proteção catódica consiste na utilização de pares metálicos, sendo um de sacrifício, o qual irá proteger contra a corrosão. Esse metal de sacrifício tem maior potencial de oxidação no meio do que o primeiro, e apresenta tendência a sofrer corrosão. Os ânodos mais comuns para ferro e aço são feitos de zinco, alumínio e magnésio [6, 7, 14].

Apresenta baixo custo de instalação e baixo custo de manutenção por não necessitar suprimento de alimentação externa, como na proteção anódica, tem poucas interrupções durante o funcionamento do ânodo. Porém, os ânodos precisam ser repostos e tem alto custo se tiver grandes estruturas a serem protegidas [7, 14].

Pode ser feito para qualquer metal em meios corrosivos fracos, como solo, água doce ou água do mar. Essa proteção é melhor efetiva para proteger superfícies com revestimentos prévio, já que revestimentos possuem poros e falhas responsáveis por iniciar o processo corrosivo do metal [7, 14].

5.2.3 Proteção por Meio de Inibidores

Inibidores são substâncias ou mistura de substâncias, orgânicas ou inorgânicas, que são adicionadas no meio corrosivo com certa concentração. Os inibidores evitam ou diminuem a corrosão do metal, formando um filme fino na superfície do metal ou promovendo polarização anódica ou catódica [6, 7, 14].

Geralmente, possuem na composição nitrogênio e enxofre. O mecanismo geral é a adsorção química do inibidor sobre a superfície metálica, que leva à formação da película de óxido protetor do metal base e reage com um componente potencialmente corrosivo presente no meio, normalmente aquoso provocando um bloqueio e diminuindo a velocidade de corrosão [7, 14].

Os principais tipos de inibidores são: inibidores anódicos, que formam produtos insolúveis nas áreas anódicas; inibidores catódicos, que formam produtos insolúveis nas áreas catódicas; inibição por barreira, que forma película por adsorção, reage com o oxigênio do meio, promove desaeração. Esse tipo de proteção é aplicado em destilação de petróleo, tratamento de água potável e sistemas de oleodutos [7, 14].

5.2.4 Proteção por Recobrimentos Superficiais

Essa técnica consiste no revestimento da superfície metálica com películas de compostos orgânicos, inorgânicos, metálicos ou não metálicos. Esse revestimento aumenta a resistência à corrosão por criar uma barreira entre o metal e o meio corrosivo [7].

Os revestimentos metálicos formam uma camada com máxima resistência à corrosão, sem intermetálicos e é aderido na superfície por ancoramento mecânico. Existem os revestimentos compósitos que consiste em materiais cerâmicos como fibras ou flocos de vidro em matriz polimérica, os quais garantem maior durabilidade e baixa permeabilidade no metal a ser protegido [7,14].

Os revestimentos não metálicos inorgânicos são depositados diretamente sobre a superfície, tal como vidros, porcelanas e nitretos. Os revestimentos não metálicos orgânicos são os mais utilizados na indústria, são chamados de tintas, é um composto líquido que forma um filme sólido, aderente e impermeável ao secar sobre a superfície metálica [7, 14].

As tintas agem protegendo o metal do meio corrosivo, formando uma barreira, e possuem na sua formulação inibidores de corrosão (exemplo, cromato de zinco) que reagem com o meio. Também existem tintas com mecanismo eletroquímico, por exemplo, as tintas ricas em zinco possibilitam a continuidade elétrica entre as partículas de zinco e o aço, garantindo proteção catódica [7].

O revestimento organometálico está sendo muito difundido por não possuir metais cromo na sua composição: cromo, chumbo, entre outros. As formulações químicas desses revestimentos possuem patentes e não são divulgadas, porém, são revestimentos orgânicos a base de solvente ou inorgânicos em base aquosa aplicados sobre a superfície metálica e, posteriormente, passa pelo processo de cura [16, 28].

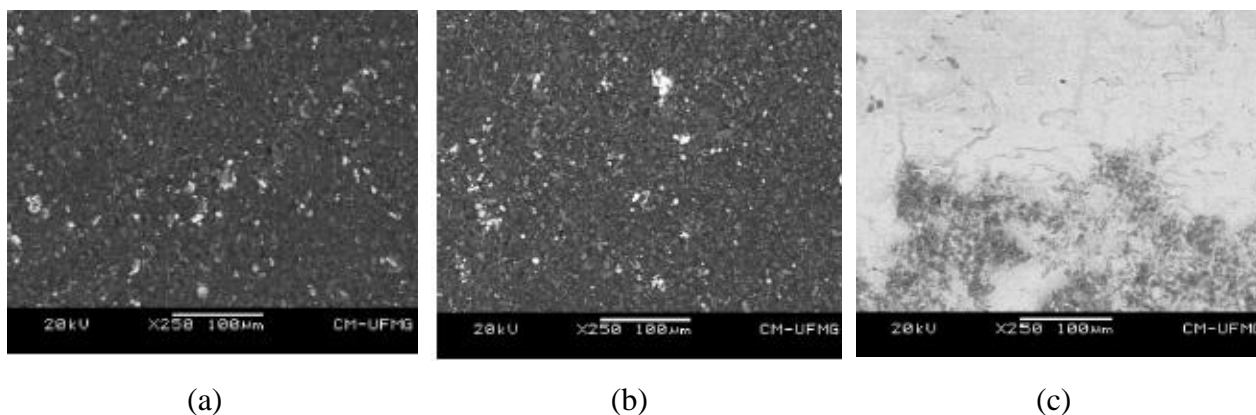
Um revestimento anticorrosivo muito empregado para superfície interna é a pintura com resina epóxi, um polímero termorrígido que possui pelo menos dois anéis de três membros chamado de epóxi. Silva [4] estudou a eficiência da aderência dessa pintura em corpos de prova de aço carbono através do ensaio de aderência à tração, utilizando tinta epóxi ‘Novolac’ curada com poliamina sem solvente pigmentada com flocos de vidro e tinta epóxi poliamina de alta espessura, sem solvente, formulado com pigmentos anticorrosivos sem flocos de vidro [4, 6].

A eficiência dos revestimentos foi determinada através do ensaio de aderência à tração de tensão de ruptura, o qual indica a causa da falha de aderência. A tinta curada com poliamida sem solvente pigmentada com flocos de vidro teve maior aderência ao metal, ou seja, essa barreira contra o processo de corrosão é mais eficiente. [4, 6]

No estudo de Oliveira [16] sobre a corrosão de aço carbono em misturas de gasolina e etanol com revestimento organometálico, fornecidos pela empresa AETHRA Sistemas Automotivos, foram realizados teste de imersão parcial e total por 6552 horas, e teste de perda de massa. Os revestimentos organometálicos utilizados possuíam alumínio na sua composição.

As amostras não tiveram diferença considerável de perda de massa, não houve corrosão generalizada. Através de MEV e EDS foi possível a comparação entre os aços revestidos e não revestidos, em que as amostras sem revestimento apresentaram corrosão na forma de pites, enquanto que com revestimento o aço não sofreu ataque corrosivo da mistura de combustíveis durante o período ensaiado, ilustrado na Figura 4.

Figura 4. Micrografia obtida pelo MEV da superfície das amostras após imersão parcial com ampliação de 250 vezes. (a) amostra A com revestimento organometálico; (b) amostra B com revestimento organometálico; (c) Amostra c sem revestimento metálico [16].



Fonte: OLIVEIRA, 2013.

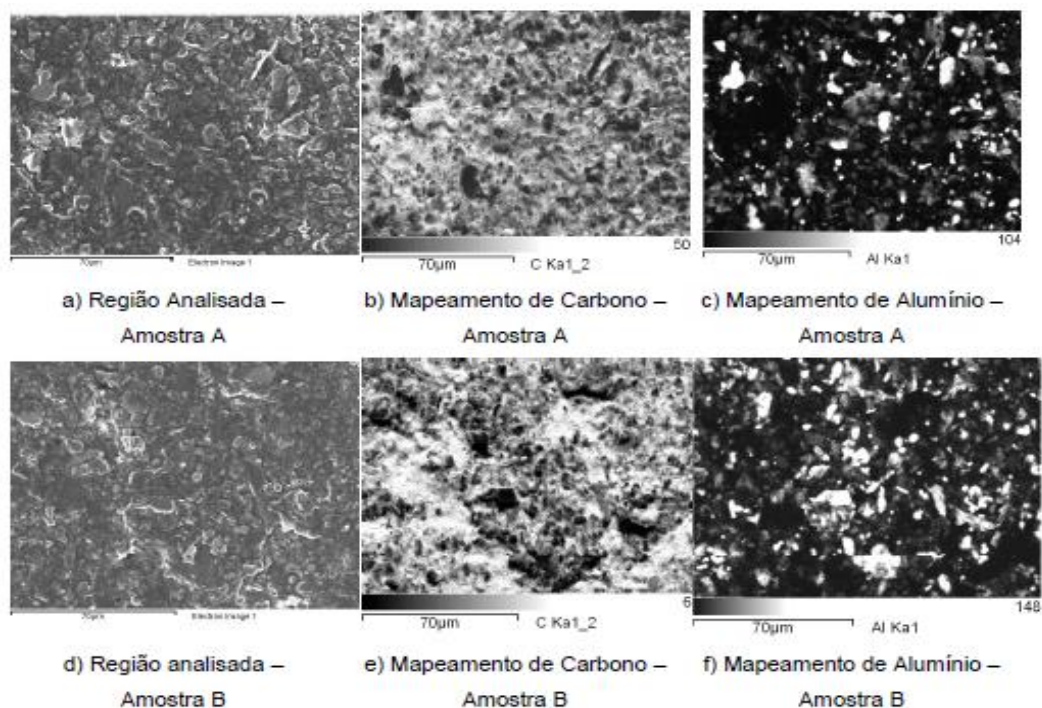
Saliba [28] também estudou sobre a resistência à corrosão do aço com revestimento organometálico, utilizou-se chapas planas de aço galvanizado e organometálicos de dois tipos de fabricantes diferentes, chamados de A e B, porém, o teste de resistência à corrosão foi feito para ambiente atmosférico marinho (névoa salina), focando na parte externa do tanque de combustível.

Na análise semi-quantitativa da composição dos organometálicos, utilizando Espetroscopia de Energia Dispersiva, foi encontrado alumínio, carbono, níquel, flúor, silício e outros composto. A análise por EDS, Figura 5, indicou que os corpos de prova com revestimento A possuíam menos alumínio na sua composição que B, e em ambos o alumínio está disperso sobre a matriz. As regiões claras nas imagens revelam a presença do elemento químico desejado.

O teste acelerado cíclico de corrosão de 80 ciclos GMW 14872 simula o tempo de vida do tanque de 10 anos e, através dele, verificou-se que o aço de baixo carbono com revestimento organometálico aumentou sua resistência à corrosão comparado ao aço com o tratamento de galvanização, como pode ser visto na Figura 6.

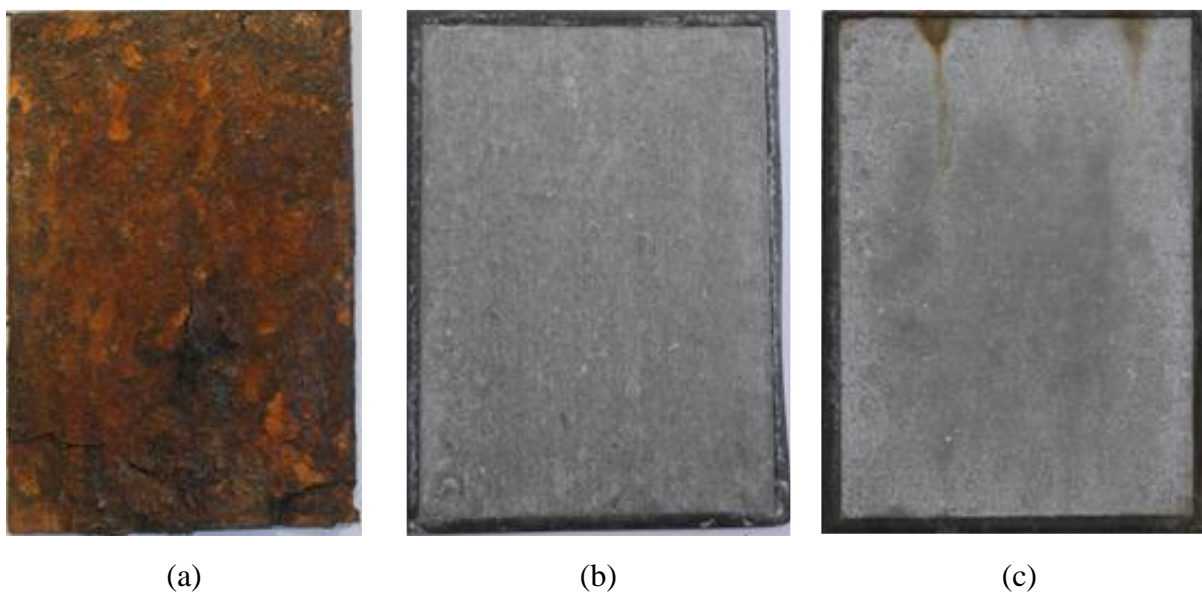
No início do ensaio, a superfície das amostras estava coberta por oxidação branca, e ao final dos 80 ciclos, apenas a oxidação vermelha estava presente, o que sugere a dissolução dos produtos de corrosão branca, expondo o aço ao meio agressivo. A corrosão branca é composta por óxidos de zinco e a corrosão vermelha é composta por óxidos de ferro, indicando a exposição e corrosão do aço.

Figura 5. Mapeamento de elemento químico por EDS das superfícies de amostras com revestimento organometálico (a ,b, c) A e (d, e, f) B [28].



Fonte: SALIBA, 2013.

Figura 6. Fotos dos corpos de prova de aços galvanizados após 1920 horas de teste acelerado cíclico de corrosão (80 ciclos) GMW 14872: (a) sem revestimento organometálico; (b) com revestimento organometálico do tipo A; (b) com revestimento organometálico do tipo B [28].



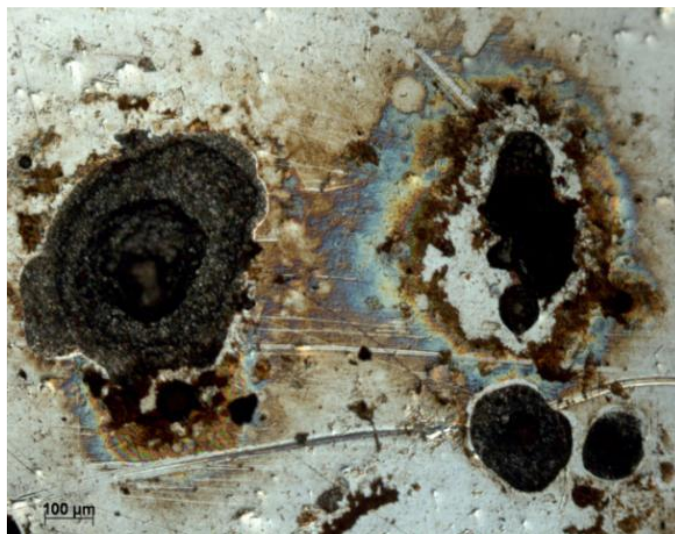
Fonte: SALIBA, 2013.

Boniatti [29] avaliou a corrosão do aço AISI 4140 em biocombustível, etanol hidratado combustível (EHC), após tratamento de nitrocarbonetação e pós-oxidado em plasma. A corrosão foi caracterizada através de DRX, MO, MEV e EDS. O aparato para teste de imersão era composto por um recipiente de vidro de 30 mL com EHC, com a tampa vedada e um capilar de vidro para entrada e saída de ar.

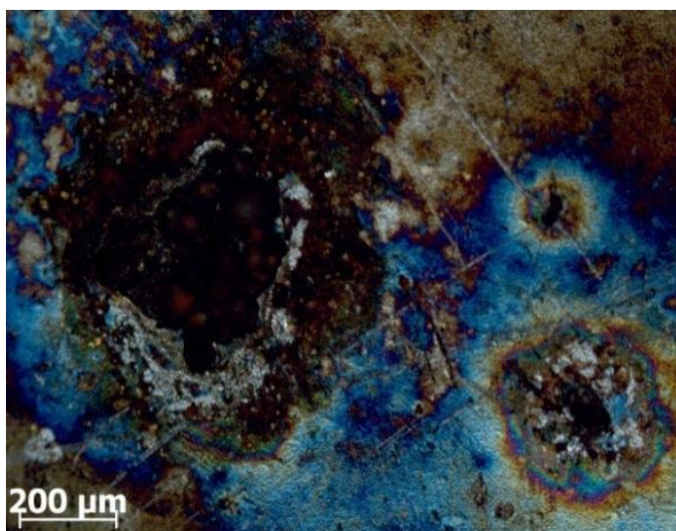
Foram tiradas micrografias através de MO a cada semana, o aço apresentou corrosão localizada do tipo pite e com o aumento do tempo de imersão, maior o tamanho e a quantidade de pites. Através do MEV foi obtido a composição química dos pites pelo EDS, em que há presença de oxigênio, indicando a presença de óxidos de ferro.

Além disso, pode-se determinar que a maior resistência à corrosão do aço ocorreu após 90 minutos de oxidação, o tempo de oxidação ótimo, ilustrado em c na Figura 7. Em tempos menores, uma camada de óxido é formada com deslocamento prematuro. Já em maior duração que 90 minutos, apareceram defeitos na camada de óxidos, rachaduras e poros.

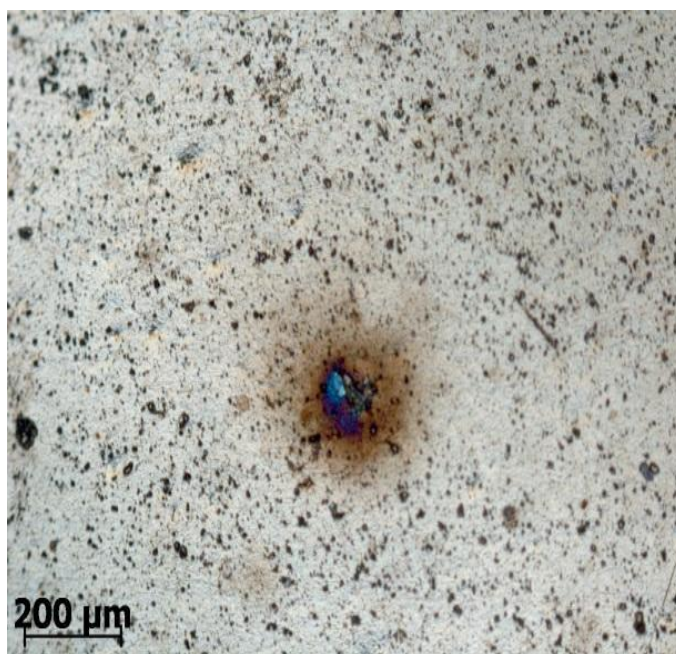
Figura 7. Imagens obtidas por MO do aço AISI 4140 após 77 dias de imersão em EHC: (a) sem tratamento superficial; (b) nitrocarbonetado e pós-oxidado durante 30 minutos; (c) nitrocarbonetado e pós-oxidado durante 90 minutos [29].



(a)



(b)



(c)

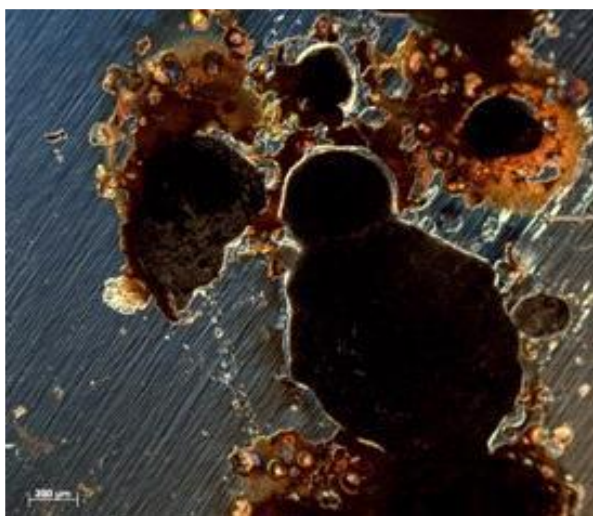
Fonte: BONIATTI, 2012.

O mesmo aço teve sua corrosão estudada por Ana Bandeira [30] por imersão em EHC, porém dois tratamentos foram utilizados: têmpera e revenimento, nitretado a plasma e revestimento com filme fino de CrN, com tratamento duplex (nitretado/CrN). Para determinar o coeficiente de atrito, o metal foi submetido ao ensaio de desgaste por deslizamento tipo esfera-sobre-disco, e a corrosão foi ensaiada antes e após o desgaste durante 21 dias.

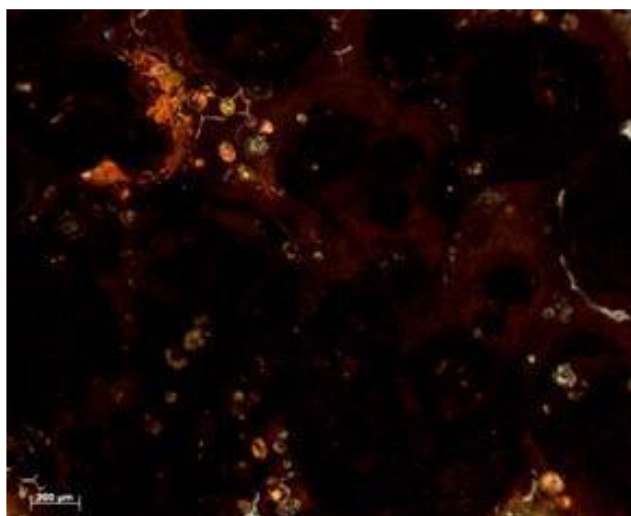
O revestimento duplex mostrou maior resistência à corrosão do que o aço temperado e revenido, que apresentou corrosão por toda a superfície, caracterizada por pites e generalizada como mostrado em a e b na Figura 8, com barra de escala de 200 μm . As amostras com revestimento de CrN, o filme foi descolado da superfície, devido à baixa adesão do CrN ao substrato de aço. Em c-f a barra de escala é de 100 μm .

Com o desgaste, a corrosão se inicia na superfície desgastada, diretamente no aço e formando óxido de ferro. Com o duplex, as amostras apresentaram menor taxa de desgaste e formou-se óxidos de cromo.

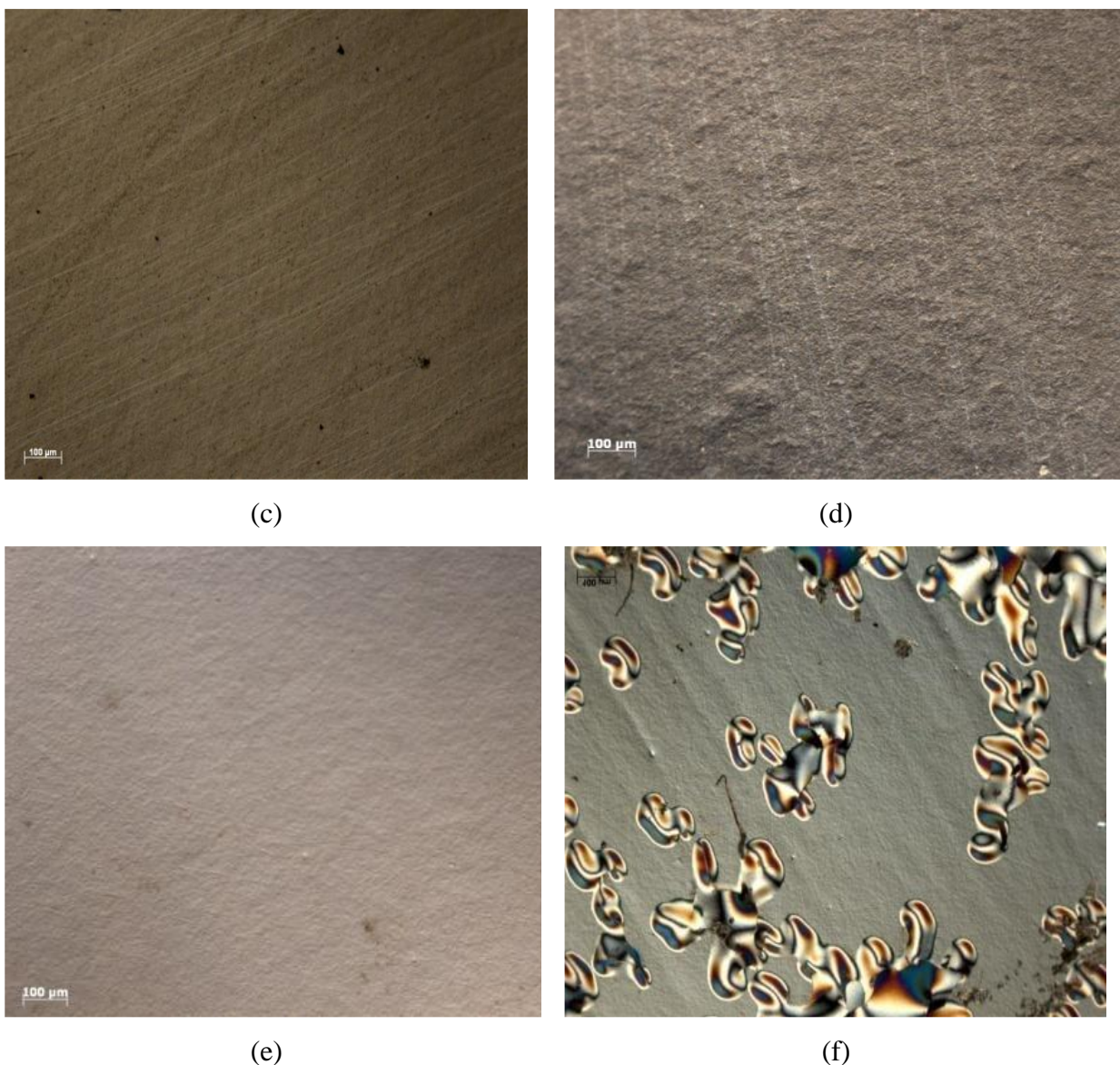
Figura 8. Micrografias do aço 4140 após 14 e 21 dias de imersão em EHC sem desgaste: (a) com têmpera e revenimento após 14 dias; (b) com têmpera e revenimento após 21 dias; (c) corte da seção transversal do corpo de prova, mostrando substrato com tratamento duplex na superfície após 14 dias; (d) corte da seção transversal do corpo de prova, mostrando substrato com tratamento duplex na superfície após 21 dias; (e) superfície do corpo de prova com tratamento duplex após 14 dias; (f) superfície do corpo de prova com tratamento duplex após 21 dias [30].



(a)



(b)



Fonte: BANDEIRA, 2012.

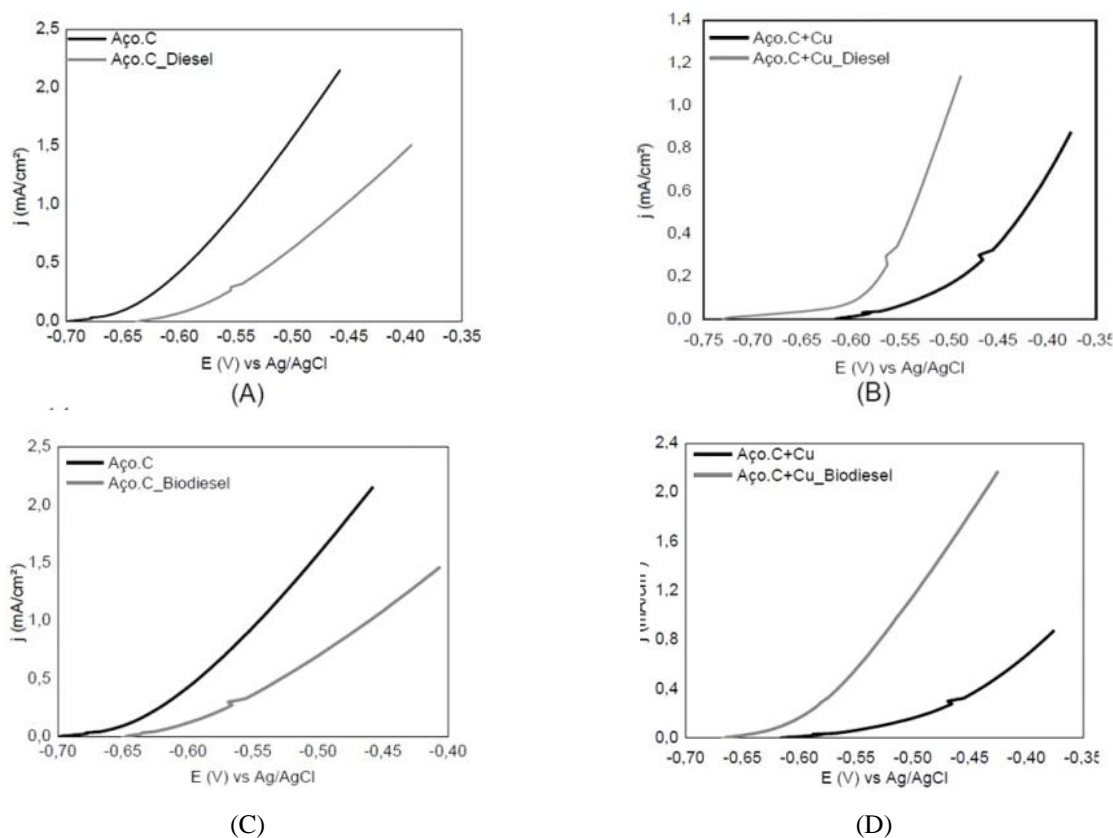
A resistência à corrosão do aço carbono revestido com cobre foi estudado por Johann [31], empregando ensaios de potencial de circuito aberto, impedância eletroquímica e polarização anódica. Anteriormente a esses ensaios, as amostras ficaram imersas em meio de diesel S10 e biodiesel B100 durante 2 meses. Após a imersão, foi identificado oxigênio na superfície das amostras, indicando formação de óxido de cobre e ferro na superfície por conta das características corrosivas do meio.

Na Figura 9, é possível verificar que, em biodiesel e diesel, as amostras demonstraram um comportamento mais corrosivo do que em amostras não imersas nos combustíveis. Isso porque

apresentaram menores valores de densidade de corrente, indicando formação de produto de corrosão, protegendo o aço.

Com o revestimento de cobre, as amostras tiveram menor resistência à corrosão, com maior densidade de corrente na polarização, indicando que o cobre se oxidou, atuando como eletrodo de sacrifício. O biodiesel se mostrou mais corrosivo do que o diesel, pois apresentou valores menores de impedância, devido às suas características higroscópicas e instabilidade oxidativa.

Figura 9. Curvas de polarização potenciodinâmica anódica para amostras: (a) Aço sem revestimento imerso em diesel; (b) Aço com revestimento Cu imerso em diesel; (c) Aço sem revestimento imerso em biodiesel; (d) Aço com revestimento Cu imerso em biodiesel [31].

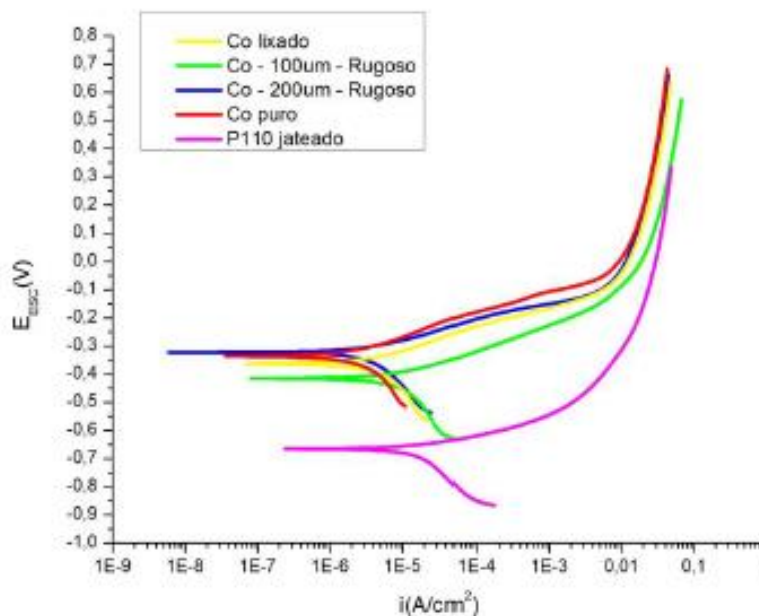


Fonte: JOHANN, 2016.

Souza [32] estudou a proteção do revestimento de cobalto contra a corrosão do aço API 5CT P110 através de polarização potenciodinâmica e circuito aberto. Foram ensaiadas amostras em que o aço foi jateado, porém sem revestimento, aço com revestimento de cobalto de 100 μm de espessura e 200 μm de espessura, aço de revestimento de cobalto com superfície lixada da amostra de 200 μm e uma placa de cobalto puro.

Na Figura 10 está o resultado dos ensaios de polarização, percebe-se uma variação pequena entre as amostras com revestimento de cobalto, todos demonstraram uma boa eficiência para proteção contra corrosão.

Figura 10. Curvas de polarização em NaCl 3,5% com os sistemas estudados por Souza [32].



Fonte: SOUZA, 2016.

Quanto à variação de espessura do revestimento, a amostra de menor espessura apresentou densidade de corrente 100 vezes mais alta do que a de maior espessura, isto é, menor resistência à corrosão. Houve presença de cavidades que indicaram corrosão localizada indicadas pelas imagens de MEV das superfícies do revestimento, mas não atingiram o substrato.

6 CONCLUSÕES

Para determinar qual tipo de proteção será utilizado contra a corrosão, é necessário fazer o estudo com as condições às quais o material estará submetido. Através dessa revisão bibliográfica pode-se entender que haviam melhores condições que outras a depender do tipo de metal, do meio inserido e da proteção utilizada, cada caso é particular.

Para determinar a resistência à corrosão é possível realizar teste de imersão, que demanda um alto número de dias, ou teste de bioimpedância, que tem menor duração, mas nem todos os meios servem para esse tipo. As superfícies dos metais podem ser caracterizadas através da

microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de raio X por dispersão de energia (EDS), entre outros métodos.

Dessa forma, pode-se determinar o mecanismo da corrosão e as possíveis formas de proteção, retardando a corrosão e suas consequências.

7 REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, Adjane Brito et al. Métodos Construtivos e Procedimentos de Prevenção à Contaminação Química de Solos e Águas Subterrâneas Causada por Vazamento de Combustíveis, 2008. Anais do VII SINGEP – São Paulo – SP – Brasil – 22 e 23/10/2018. Disponível em: <<https://singep.org.br/7singep/resultado/371.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2019.
- [2] MATTOS JR, Amarilio da Silva.; MAIA, Tacito Q. Solo Contaminado por Combustíveis, XIX Congresso Brasileiro De Engenharia De Avaliações E Perícia. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2017. Disponível em: <<https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/08/038.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2019.
- [3] FOSTER, Stephen; HIRATA Ricardo. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. Poluição das águas subterrâneas. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 1993, p. 55. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2019/02/Boletim_IG_10_Determinacao_de_Riscos_de_Contaminacao_das_Aguas_Subterraneas-1994.pdf>. Acesso em: 06 out. 2019.
- [4] SILVA, Marcela Lélis. Tratamento Anticorrosivo da Superfície Interna em Tanques de Armazenamento de Derivados do Petróleo com Resina Epóxi. Revista Científica Semana Acadêmica, nº 000085, 01/07/2016. Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/tcc_-_tratamento_anticorrosivo_2_1.pdf>. Acesso em: 06 out. 2019.
- [5] AMBROZIN, Alessandra Regina Pepe; KURI, Sebastião Elias; MONTEIRO, Marcos Roberto. Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e bicomcombustíveis. Quím. Nova, v. 32 (7), p. 1910-1916, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000700037. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000700037&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 out. de 2019.
- [6] CALLISTER JR., William. D; RETHWISCH, David. G. Ciência e Engenharia de Materiais. Uma introdução. 8ª edição, LTC, 2018.
- [7] GENTIL, Vicente. Corrosão. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 1-2, 2003.
- [8] EYRES, David J. Corrosion Control and Anti-fouling Systems. Livro Ship Construction, p. 309-325, 2007. DOI: 10.1016/B978-075068070-7/50029-3.
- [9] MOURA, Elaine Cristina M. de et al. Avaliação do potencial anticorrosivo de tiossemicarbanozas solubilizadas em microemulsão. Química Nova, v. 36, n. 1, p. 59, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000100011&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 06 out. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422013000100011>.
- [10] NBR 16161:2019, Armazenamento de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis – Tanques Metálicos Subterrâneos – Especificação de Fabricação e Modulação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

- [11] NBR 17505-4:2015, Armazenamento de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis – Armazenamento em recipientes e em tanques portáteis até 3 000 L. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- [12] SUZUKI, Carlos. Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, projeto e fabricação de tanques de combustível para automóveis de passageiros dentro da General Motors do Brasil. 2007. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, SP. Disponível em: <https://www.automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/carlos_suzuki.pdf>. Acesso em: 06 out. de 2019.
- [13] HASEEB, Abdul et al. Compatibility of automotive materials in biodiesel: A review. Fuel. v. 90, p. 922-931, 2011.
- [14] FRAUCHES-SANTOS, Cristiane et al. A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos. Rev. Virtual Quim., 2014, 6 (2), 293-309, 2013. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v6n2a09.pdf>>. Acesso em: 06 out. de 2019.
- [15] BARD, Allen et al. Electrochemical methods: fundamentals and applications. Vol. 2. New York: Wiley, 1980.
- [16] OLIVEIRA, Elaine Martins. Avaliação da Corrosão em Chapas de Aço Carbono com e sem Revestimento Organometálico, em Contato com Sistemas Gasolina/Etanol e Diesel/Biodiesel. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Minas, 2013.
- [17] ABRACO, Associação Brasileira de Corrosão. Corrosão – Uma Abordagem Geral. Disponível em: <[paginapessoal.utfpr.edu.br/Teoria - Corrosao.pdf](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/Teoria-Corrosao.pdf)> at_download > file>. Acesso em: 19 out. de 2019.
- [18] ASSIS, Júlio C. Rosa et al. Caracterização dos Principais Componentes da Gasolina Automotiva Através de Cromatografia Gasosa. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2003. Disponível em: <<http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/2/7022.pdf>>. Acesso em: 19 out. de 2019.
- [19] WACHTER, Harald Fradera. Avaliação da Corrosividade de Misturas de Gasolina e Álcool Combustível. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia de Materiais, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/127766>>. Acesso em 19 out. de 2019.
- [20] COSTA, Rytney Santos. Estudo da Corrosão do Aço Inox AISI 304 em Álcool Etílico Hidratado Combustível. Tese de Doutorado da Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2012. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/265275/1/Costa_RytneySantos_D.pdf>. Acesso em 19 out. de 2019.
- [21] BIN, J. V. Efeito dos contaminantes do álcool e motores Otto. In: Nota técnica STI/MIC, Brasília, 1986.
- [22] SOUZA, Júpiter Palagi de. Aplicação de Técnicas Eletroquímicas na Avaliação de Inibidores de Corrosão: Um Estudo do Comportamento de Ferro em Etanol Combustível. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Faculdade de Engenharia, 1983. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/171815/000062664.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 out. de 2019.
- [23] AZAMBUJA, Aline. Avaliação da Contaminação Microbiana Durante Armazenamento Simulado de Mistura B10 e Óleo Diesel com Diferentes Teores de Enxofre. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/170654>>. Acesso em: 19 out. de 2019.
- [24] MOHANAN, S. et al; The role of fungi on diesel degradation, and their influence on corrosion of API 5LX steel. Corros. Prevent. Control 2005, 52, 123. Disponível em: <http://krc.cecri.res.in/ro_2005/014-2005.pdf>. Acesso em: 19 out. 2019.
- [25] BENTO, Fátima Menezes et al. Degradation and Corrosive Activities of Fungi in a diesel-

- mild steel-aqueous system. *World J Microbiol Biotechnol*, 2005. DOI: 10.1007/s11274-004-3042-2.
- [26] PINTO, Angelo et al. Biodiesel: an overview. *Braz. Chem. Soc.* 2005, 16, 1313. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532005000800003>.
- [27] CAVALCANTI, Eduardo Homem.; *Anais do 28º Congresso Brasileiro de Corrosão e 2nd International Corrosion Meeting*, Recife, Brasil, 2008.
- [28] SALIBA, Patrícia Alves. Caracterização e resistência à corrosão atmosférica de chapas planas de aço galvanizado com revestimento organometálico usadas na fabricação de tanques de combustível automotivos. Dissertação de Mestrado em Engenharia química - Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.
- [29] BONIATTI, Rosiana. Avaliação da corrosão no aço AISI 4140 nitrocarbonetado e pós-oxidado a plasma em etanol hidratado combustível. Dissertação de Mestrado – Universidade de Caxias do Sul, 2012.
- [30] BANDEIRA, Aline Luísa. Comportamento do desgaste e posterior corrosão do sistema duplex AISI 4140 nitretado/CrN em bioetanol combustível. Dissertação Mestrado – Universidade Caxias do Sul, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/handle/11338/719>>. Acesso em: 07 nov. 2019.
- [31] JOHANN, Julian et al. Resistência à corrosão em meio de diesel e biodiesel do aço carbono revestido com cobre. *Corros. Prot. Mater.*, Lisboa, v. 35, n. 2, p. 20-25, dez. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-11642016000200003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 07 nov. 2019
- [32] SOUZA, Matheus Espindola. Revestimento de cobalto aplicados por aspersão térmica HVOF como proteção contra corrosão de aço API 5CT P110. Trabalho de conclusão de graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/155995>>. Acesso em: 07 nov. 2019.